

**Device for generating electrical energy, having a fuel cell**

Patent Number: ☐ US6534208  
Publication date: 2003-03-18  
Inventor(s): ZINSER WOLFGANG (DE)  
Applicant(s): BALLARD POWER SYSTEMS AG (DE)  
Requested Patent: ☐ DE19951584  
Application Number: US20000697684 20001027  
Priority Number(s): DE19991051584 19991027  
IPC Classification: H01M8/04  
EC Classification: B60L11/18R, B60L11/18R2, H01M8/04C2  
Equivalents: ☐ JP2001189163

---

**Abstract**

---

A device for generating electrical energy, having a fuel cell. A unit includes two rigidly coupled synchronous machines to drive compressors and other additional units. During the starting phase, the idling synchronous machine is energized and, at the end of the starting phase, is changed over to motor operation, to thereby drive the compressors and other additional units and the first synchronous machine, which is set to generator operation

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2





18 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Off nl gungsschrift  
10 DE 199 51 584 A 1

51 Int. Cl. 7:  
H 01 M 8/04

21 Aktenzeichen: 199 51 584.0  
22 Anmeldetag: 27. 10. 1999  
43 Offenlegungstag: 17. 5. 2001

DE 199 51 584 A 1

71 Anmelder:  
XCELLSIS GmbH, 70567 Stuttgart, DE

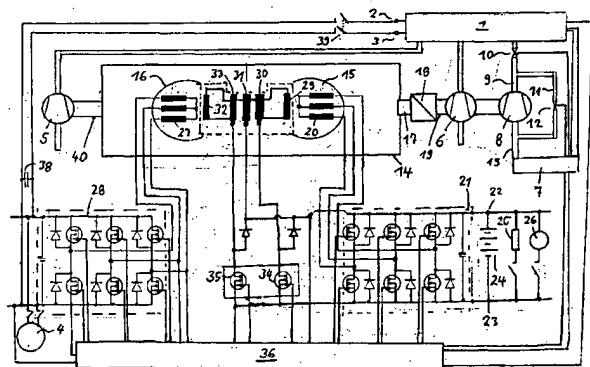
72 Erfinder:  
Zinser, Wolfgang, Dipl.-Ing., 73230 Kirchheim, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

64 Vorrichtung zum Erzeugen elektrischer Energie mit einer Brennstoffzelle, der Zusatzaggregate zum Starten und zum Betrieb zugeordnet sind und Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung

57 Gegenstand der Erfindung ist eine Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie mit einer Brennstoffzelle (1). Eine Einheit aus zwei starr gekoppelten Synchronmaschinen (15, 16) treibt Kompressoren (5, 6) u. a. Zusatzaggregate und die andere Synchronmaschine an. Während der Startphase wird die leerlaufende Synchronmaschine erregt und beim Ende der Startphase auf Motorbetrieb umgestellt, in dem sie die Kompressoren (5, 6) u. a. Zusatzaggregate sowie die erste auf Generatorbetrieb eingestellte Synchronmaschine antreibt (Fig. 1).



DE 199 51 584 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie mit einer Brennstoffzelle, der ein Oxydant durch einen Kompressor zugeführt wird, und mit einem für die Versorgung eines Brenngaserzeugungssystems mit Luft bestimmten Hochdruckkompressor. Weiterhin bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung der vorstehend beschriebenen Art.

Es ist bereits eine Schaltungsanordnung zur elektrischen Energieversorgung eines Brennstoffzelle und eine Akkumulatorschaltung enthaltenden Netzes vorgeschlagen worden, in dem der Akkumulator während des Startvorgangs die Energie liefert (DE 198 104 685). Die Akkumulatorschaltung ist bei dieser Anordnung über einen oder mehrere DC/DC-Wandler an das Brennstoffzellennetz angeschlossen, mit dem auch die Antriebe von Hilfsaggregaten wie einem Kompressor zur Förderung des Brennstoffmittels und/oder von Luft verbunden sind. Zu Beginn eines Startvorgangs liefert der Akkumulator die Energie für die Hilfsaggregate. Im Anschluß an den Startvorgang, also im Nennbetrieb, wird der Akkumulator über den DC/DC-Wandler aufgeladen.

Bekannt ist ein Verfahren zum Starten eines Brennstoffzellen-Fahrzeugs, das von einer elektrischen Antriebseinheit, die von der Brennstoffzelle gespeist wird, angetrieben wird. Das Brennstoffzellenfahrzeug enthält eine Brennstoffzelle, der über eine Leitung, in der ein Ventil und ein Druckregler angeordnet sind, ein Brennstoffmittel, z. B. Wasserstoff, zugeführt wird. Über eine weitere Leitung, in der ein Luftfilter, ein Luftmassenmesser und ein Kompressor angeordnet sind, wird der Brennstoffzelle ein Oxydant, z. B. Luft, zugeführt. Zum Antrieb des Kompressors sind ein Anlassermotor und ein Elektromotor vorgesehen. Zum Start der Brennstoffzelle wird der Anlassermotor von einer Starter-Batterie mit Strom versorgt. Im Normalbetrieb liefert die Brennstoffzelle die zum Betrieb des Elektromotors nötige Energie. Durch einen Stromsteller wird die Drehzahl des Elektromotors und damit die des Kompressors zur Beeinflussung des Oxydanten-Massenstroms eingestellt um die Leistung der Brennstoffzelle zu beeinflussen (DE 43 22 767 A1).

Die Brennstoffzelle wird sowohl während der Startphase als auch im normalen Betrieb von einem Kompressor mit dem Oxydanten, z. B. Luft, versorgt. Das für den Betrieb der Brennstoffzelle erforderliche Brenngas, insbesondere Wasserstoff, wird vielfach aus Kohlenwasserstoffen erzeugt. Das Brenngaserzeugungssystem benötigt Luft, die von einem Hochdruckkompressor in das Brenngaserzeugungssystem in an sich bekannter Weise eingespeist wird. Für die Kompressorantriebe können Gleich- oder Wechsel- bzw. Drehstrommotore eingesetzt werden. Wechsel- oder Drehstrommotore müssen über Wechselrichter an das Gleichspannungsnetz der Brennstoffzelle angeschlossen werden. Während der Startphase der Brennstoffzelle versorgt eine Starterbatterie die Hilfs- bzw. Zusatzaggregate wie Kompressor und Hochdruckkompressor mit Energie. Für die Versorgung der Brennstoffzelle mit Kühlwasser, das zwar nicht zum Starten der Brennstoffzelle aber im Betrieb unter höheren Lasten benötigt wird, ist eine Pumpe notwendig, die z. B. von einem mit den elektrischen Ausgängen der Brennstoffzelle über einen Wechselrichter verbundenen Wechsel- oder Drehstrommotor angetrieben wird.

Mit den von Einzelmotoren gegebenenfalls über Wechselrichter angetriebenen Hilfsaggregaten wie Pumpen und Kompressoren ergibt sich eine relativ aufwendige Anordnung mit entsprechendem Raumbedarf und größerem Gewicht. Durch diese Anordnung wird auch der Gesamtwirkungsgrad des Brennstoffzellensystems nicht unerheblich

vermindert.

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie mit einer Brennstoffzelle, der Zusatzaggregate zum Starten und zum Betrieb zugeordnet sind dahingehend weiterzuentwickeln, daß durch Kombination von für die Zusatzaggregate notwendigen Antrieben die Vorrichtung vereinfacht und der Gesamtwirkungsgrad der Vorrichtung verbessert wird. Weiterhin besteht die Aufgabe der Erfindung darin, ein Verfahren zum Betrieb einer derartigen Vorrichtung anzugeben.

Das Problem wird bei einer Vorrichtung der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine Einheit eine erste und eine zweite Synchronmaschine aufweist, daß die erste der beiden als Einheit starr miteinander gekoppelten Synchronmaschinen über einen Wechselrichter an eine Speicherbatterie und die zweite über einen Wechselrichter an die elektrischen Ausgänge der Brennstoffzelle anschaltbar ist, daß die Einheit wenigstens mit dem Hochdruckkompressor und dem Kompressor mechanisch starr gekoppelt ist und daß die Wechselrichter und die Feldwicklungen der Synchronmaschinen an eine Steuereinheit angeschlossen sind, die im Startbetrieb die erste Synchronmaschine als Motor und die zweite leerlaufend und nach dem Startbetriebe die zweite als Motor und die erste als Generator steuert. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden Einzelmotorenantriebe eingespart. Die erste Synchronmaschine arbeitet nach dem Ende der Startphase der Brennstoffzelle als Generator und lädt die Speicherbatterie sowie versorgt Verbraucher, die an die Speicherbatterie angeschlossen sind. Die Startphase bzw. der Startbetrieb ist beendet, wenn die Brennstoffzelle betriebsbereit ist und die entsprechende Betriebsspannung ausgibt. Bei den Verbrauchern kann es sich um Motoren, Heizwiderstände usw. handeln. Die an die Brennstoffzelle angeschlossenen Stromkreise sind galvanisch von den mit der Speicherbatterie verbundenen Stromkreisen getrennt, so daß sich ein DC/DC-Wandler mit großem Übersetzungsverhältnis für die unterschiedlichen Spannungen des Brennstoffzellennetzes und des Speicherbatterienetzes erübrigt. In der Startphase ist an die elektrischen Ausgänge der Brennstoffzelle noch keine Last angeschlossen, so daß die von der Speicherbatterie dem Synchronmotor für den Betrieb des Kompressors und des Hochdruckkompressors zugeführte Leistung ausreicht, um die Brennstoffzelle in den für den Lastbetrieb gewünschten Betriebszustand zu versetzen. Für die Versorgung der Brenngaseinrichtung mit Luft reicht es aus, wenn der Hochdruckkompressor eine um ca. eine Zenerpotenz kleinere Leistung als der Kompressor hat.

Bei einer zweckmäßigen Ausführungsform ist der Hochdruckkompressor über ein Untersetzungsgetriebe mit der Einheit verbunden, um die von der gleichen Einheit angetriebenen Motoren im günstigsten Drehzahlbereich arbeiten zu lassen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist mit der Welle des Hochdruckkompressors eine Wasserpumpe starr gekoppelt, zu der ein mit einem steuerbaren Ventil ausgestatteter Bypass parallel geschaltet ist und die mit einer Ausgangsleitung an die Kühleinrichtung der Brennstoffzelle angeschlossen ist, deren Kühlwasserzulauf durch ein weiteres Ventil sperrbar ist.

Die Wasserpumpe für die Kühlung der Brennstoffzelle wird bei dieser Ausführungsform von der gleichen Einheit wie Kompressoren angetrieben, wodurch sich ein separater Motor einsparen läßt. Während des Startens der Brennstoffzelle wird die Kühlwasserzufuhr zur Brennstoffzelle mit einem Ventil gesperrt und der Bypass auf Durchlaß geschaltet.

Es ist zweckmäßig, wenn die Feldwicklungen der Synchronmaschinen je über kontaktlose Schalter mit der Spei-

cherbatterie verbunden sind. Die Feldwicklungen werden somit über das an die Speicherbatterie angeschlossene Netz gespeist.

Vorzugsweise hat die erste Synchronmaschine etwa 10 bis 20% der Leistung der zweiten Synchronmaschine. Für den Antrieb des Kompressors, des Hochdruckkompressors und der zweiten Synchronmaschine im Leerlauf während der Startphase der Brennstoffzelle reicht diese Leistung ebenso aus wie für die Ladung der Speicherbatterie und die Speisung der am Netz der Speicherbatterie betriebenen Verbraucher nach der Startphase.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Vorrichtung in einem Fahrzeug angeordnet, das mindestens einen an die Brennstoffzelle anschaltbaren Elektromotor für den Antrieb wenigstens zweier gleichachsiger Räder aufweist. Die Vorrichtung eignet sich insbesondere für Kraftfahrzeuge mit wenigstens einem Fahrmotor, bei denen mit der Erfindung kurze Startzeiten erreichbar sind. Kurze Startzeiten sind wegen des Anlassens der Kraftfahrzeuge, insbesondere bei häufigen Fahrten, von Bedeutung, um lästige Wartezeiten bis zum Fahrtbeginn zu reduzieren.

Zweckmäßigerweise enthält die Einheit drei, mit den Feldwicklungen der Synchronmaschinen verbundene Schleifringe, von denen einer beiden Feldwicklungen gemeinsam ist, wodurch sich eine Einsparung an Schleifringen ergibt.

Ein Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung mit einer Brennstoffzelle, der ein Oxydant, insbesondere Luft, durch einen Kompressor zugeführt wird, und mit einem für die Versorgung eines Brenngaserzeugungssystems mit Luft bestimmten Hochdruckkompressor, wobei eine Einheit aus zwei starr miteinander verbundenen Synchronmaschinen, von denen eine über einen Wechselrichter an die Speicherbatterie und die zweite an die elektrischen Ausgänge der Brennstoffzelle anschaltbar ist, mechanisch wenigstens mit dem Hochdruckkompressor und dem Kompressor verbunden ist, besteht erfindungsgemäß darin, daß zum Starten der Brennstoffzelle die erste Synchronmaschine erregt und als Motor bei leerlaufender zweiter Synchronmaschine zum Antrieb des Kompressors und des Hochdruckkompressors betrieben wird, daß die Brenngaszufuhr freigegeben wird, daß die zweite Synchronmaschine als Generator auf eine Spannung unterhalb der von der Brennstoffzelle im Betrieb ausgegebenen Spannung erregt wird, und daß nach dem Erreichen der Betriebsspannung der Brennstoffzelle die zweite Synchronmaschine bei dieser unterhalb der Brennstoffzellenspannung liegenden Spannung mit der Brennstoffzellenspannung beaufschlagt wird und als Motor den Kompressor und Hochdruckkompressor sowie die erste Synchronmaschine antreibt.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren treibt die erste Synchronmaschine während des Startvorgangs bzw. der Startphase Zusatzaggregate an, die einen schnellen Start bewirken, d. h. die Brennstoffzelle in kurzer Zeit in einen Zustand versetzen, in dem sie ihre gewünschte Spannung ausgibt und die gewünschte Leistung abgeben kann. Während des Startvorgangs wird die zweite Synchronmaschine auf eine Ausgangsspannung erregt, die etwas kleiner als die Brennstoffzellenausgangsspannung im Nennbetrieb ist. Sobald die Brennstoffzellenspannung erreicht ist, wird diese über einen Schalter und den Wechselrichter an die zweite Synchronmaschine angelegt, wodurch die zweite Synchronmaschine nahezu stoßfrei vom Generator- in den Motorbetrieb, übergeht. Durch die als Motor arbeitende zweite Synchronmaschine wird die erste Synchronmaschine auf Generatorbetrieb umgestellt, in dem sie die Speicherbatterie lädt und die an das Speicherbatterienetz angeschlossenen elektrischen Verbraucher mit Strom versorgt.

Zweckmäßigerweise wird die erste Synchronmaschine zuerst mit Erregerstrom beaufschlagt und danach wird in die Statorwicklung Strom durch den Wechselrichter eingespeist. Dies ist für die Erzeugung eines entsprechenden Anlaufmoments günstig.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist mit dem Hochdruckkompressor eine Wasserpumpe in einem Kühlkreislauf der Brennstoffzelle verbunden und wird während des Statorgangs der Brennstoffzelle auf Bypassbetrieb umgestellt, wobei der Zulauf zum Kühlkreislauf zur Brennstoffzelle gesperrt wird. Die Brennstoffzelle wird in der Startphase, in der die in ihr erzeugte Wärme zum Aufheizen auf Betriebstemperatur ausgenutzt wird, nicht gekühlt. Erst bei Lastzuständen, bei denen eine starke Wärmeentwicklung stattfindet, wird die Brennstoffzelle mit Kühlwasser versorgt.

Die Erfindung wird im folgenden an Hand eines in einer Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher beschrieben, aus dem sich weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile ergeben.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie mit einer Brennstoffzelle und mit Zusatzaggregaten für den Betrieb der Brennstoffzelle und mit einer Speicherbatterie im Schema,

Fig. 2 ein Übersichtsschaltbild mit wesentlichen Bestandteilen der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung im Zustand der Startphase der Brennstoffzelle,

Fig. 3 ein Übersichtsschaltbild mit wesentlichen Bestandteilen der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung im Zustand nach der Aufnahme des Betriebs der Brennstoffzelle.

Eine insbesondere für ein Fahrzeug geeignete Vorrichtung zum Erzeugen elektrischer Energie enthält eine Brennstoffzelle 1, die elektrische Ausgänge 2, 3 aufweist, an die Verbraucher von elektrischer Energie angeschlossen sein können. Befindet sich die Vorrichtung in einem Fahrzeug, dann ist an die Ausgänge 2, 3 über einen nicht näher bezeichneten Schalter bzw. Steller ein Antriebsmotor 4 für die Antriebsräder des Fahrzeugs angeschlossen. Bedarfsweise können auch noch weitere Motoren und Schalter mit den Ausgängen 2, 3 bzw. mit einem an die Ausgänge 2, 3 angeschlossenen elektrischen Netz verbunden sein, das die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle 1 führt.

Zur Versorgung der Brennstoffzelle 1 mit einem Oxydanten, insbesondere Luft, ist ein Kompressor 5 vorgesehen, der über eine nicht näher bezeichnete Leitung mit der Brennstoffzelle 1 verbunden ist. Der Kompressor 5 ist für eine Leistung ausgelegt, die ausreicht, um die Brennstoffzelle 1 in dem vorgesehenen Arbeitsbereich bei elektrischer Belastung der Brennstoffzelle mit dem Oxydanten zu versorgen.

Ein Hochdruckkompressor 6 ist für die Versorgung eines Brenngaserzeugungssystems mit Luft vorgesehen. Das Brenngaserzeugungssystem, das z. B. aus Methanol Wasserstoff für die Brennstoffzelle erzeugt, benötigt die Luft zur CO-Oxidation, partiellen Oxidation, Methanoldosierung usw. Ein derartiges Brenngaserzeugungssystem ist an sich bekannt.

Die Einrichtungen zur Versorgung der Brennstoffzelle 1 mit Brenngas sind in der Zeichnung nicht dargestellt. Zur Einspeisung des Brenngases, z. B. Wasserstoff, werden an sich bekannte Mittel eingesetzt. In der DE 43 22 767 A1 oder der US 5334 463 sind z. B. Mittel zur Versorgung einer Brennstoffzelle mit Brenngas beschrieben.

Bei Belastung der Brennstoffzelle 1 wird diese zur Erreichung einer günstigen Betriebstemperatur gekühlt. Die Brennstoffzelle 1 enthält eine nicht näher dargestellte Kühleinrichtung für Kühlwasser, das einem Tank 7 durch eine Wasserpumpe 8 über eine Leitung 13 entnommen und über

eine weitere Leitung 9, in der sich eine Regelventil 10 befindet, der Kühleinrichtung der Brennstoffzelle 1 zugeführt wird, wenn eine bestimmte Betriebstemperatur trotz größerer Belastung aufrecht erhalten werden soll. Zu der Wasserpumpe 8 ist ein Parallelzweig 11 bzw. Bypass gelegt, in dem sich eine weiteres Ventil 12 befindet. In der Startphase, wenn die Brennstoffzelle durch die von ihr selbst erzeugte Prozeßwärme möglichst schnell auf Betriebstemperatur aufgeheizt werden soll, wird kein Kühlwasser in die Brennstoffzelle eingespeist. Die Einspeisung wird bei laufender Wasserpumpe 8 verhindert, indem das Ventil 12 im Parallelzweig 11 geöffnet wird.

Für den Antrieb des Kompressors 5, des Hochdruckkompressors 6 und der Wasserpumpe 8 ist eine Einheit 14, die im folgenden auch Antriebseinheit genannt wird, vorgesehen. Die Einheit weist zwei Synchronmaschinen 15, 16 auf, die starr miteinander gekoppelt sind. Weiterhin ist die Einheit über eine Welle 40 starr mit dem Kompressor 5 gekoppelt. Ferner ist eine Welle 17 der Einheit 14 mit einem Untersetzungsgetriebe 18 verbunden, dessen Welle 19 mit niedriger Drehzahl starr mit dem Hochdruckkompressor 6 und der Wasserpumpe 8 verbunden ist.

Die Synchronmaschine 15 hat eine dreiphasige Statorwicklung 20, die z. B. im Stern geschaltet ist. Die nicht näher bezeichneten Anschlüsse der Statorwicklung 20 sind jeweils an Ausgänge eines Wechselrichters 21 gelegt, der in an sich bekannter Weise als Brückenschaltung z. B. CMOS-Transistoren als Schalter aufweist, zu denen Freilaufdioden parallel geschaltet sind. Die elektrischen Bauelemente des Wechselrichters 21 sind nicht näher bezeichnet. Der Wechselrichter 21 ist an die Pole 22, 23 einer Speicherbatterie 24 bzw. eines Akkumulators angeschlossen, der ein Bordnetz speist, das z. B. 12 V oder 36 V haben kann. Die Statorwicklung ist für Bordnetzspannung ausgelegt.

Mit den Polen 22, 23 der Speicherbatterie 24 sind noch weitere Verbraucher des Fahrzeugs verbunden. Es kann sich z. B. um einen Heizwiderstand 25 und um Motoren handeln, von denen nur einer dargestellt und mit 26 bezeichnet ist. Die Verbraucher 25, 26 sind über nicht näher bezeichnete Schalter an das mit den Polen 22, 23 verbundene elektrische Netz angeschlossen. Die Schalter werden bedarfsweise geschossen. Als Verbraucher können z. B. Antriebsmotore für das Schiebedach, Scheibenwischer, Fensterheber usw. vorgesehen sein.

Die Synchronmaschine 16 hat ebenfalls eine dreiphasige Statorwicklung 27, die z. B. im Stern geschaltet und für die Brennstoffzellenspannung ausgelegt ist. Die nicht näher bezeichneten Anschlüsse der Statorwicklung 27 sind an Ausgänge eines Wechselrichters 28 gelegt, der ebenfalls als Brückenschaltung mit CMOS-Transistoren als Schalter in den Brücken Zweigen ausgebildet sein kann. Der Wechselrichter 28 ist mit den Anschlüssen 2, 3 der Brennstoffzelle 1 über einen Schalter 39 verbunden.

Die Synchronmaschine 15 hat eine Feldwicklung 29, die mit zwei Schleifringen 30, 31 auf der Maschinenwelle verbunden ist. Die Synchronmaschine 16 hat eine Feldwicklung 32, die an einen Schleifring 33 und den Schleifring 31 angeschlossen ist, der damit beiden Synchronmaschinen 15, 16 gemeinsam ist.

Der Schleifring 31 ist über eine nicht näher bezeichnete Bürste an den Pol 22 der Speicherbatterie 24 angeschlossen. Die Schleifringe 30, 33 sind je über eine nicht näher bezeichnete Bürste in Serie mit einem kontaktlosen Schalter 34 bzw. 35 mit dem Pol 23 der Speicherbatterie 24 verbunden.

Die Steuerelektroden der kontaktlosen Schalter 34, 35, der kontaktlosen Schalter der beiden Wechselrichter 21, 28, die Stellglieder der Ventile 10, 12, wenigstens ein Tempera-

turfühler im Kühlkreislauf der Brennstoffzelle, die Ausgänge 2, 3, die Pole 22, 23 und weitere nicht dargestellten Stellglieder bzw. Bauteile der Brenngaserzeugungseinrichtung sind an eine Steuerschaltung 36 bzw. Steuereinheit angeschlossen, die auch die Spannungen an den Polen 22, 23 und den Ausgängen 2, 3 überwacht. Mit der Steuerschaltung 36 können auch noch weitere Steuer- bzw. Schaltglieder z. B. von Verbrauchern im Netz der Speicherbatterie verbunden sein. Ebenso weist die Steuerschaltung 36 Bauelemente auf, die auf die Betätigung eines nicht dargestellten Zünd- bzw. Startschlüssels den Wechselrichter 21 derart in Betrieb setzen, daß die Synchronmaschine 15 als Motor auf ihre Nenndrehzahl hochläuft.

Die Synchronmaschinen 15, 16 können als Schenkelpolmaschinen oder solche mit zylindrischen Rotoren ausgebildet sein. Für hohe Drehzahlen werden vorwiegend Maschinen mit zylindrischen Rotoren eingesetzt.

Die Synchronmaschine 15 wird als Motor in der Startphase eingesetzt und kann eine geringere Leistung als die Synchronmaschine 16 haben.

Beispielsweise ist die Leistung der Synchronmaschine 16 mehr als fünf mal so groß wie die der Synchronmaschine 15. Die Drehzahlen der Synchronmaschinen 15, 16 liegen z. B. im Bereich oberhalb von 10000 1/min. Das Untersetzungsverhältnis des Getriebes 18 kann 4/1 sein. Zur Inbetriebnahme der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung für die Erzeugung elektrischer Energie mit der Brennstoffzelle 1, die beispielsweise aus einem Stack einzelner Brennstoffzellenmodule besteht, wird ein Schlüssel betätigt, der die Steuerschaltung 36 veranlaßt, den Schalter 34 zu schließen und den Wechselrichter 21 so anzusteuern, daß die Synchronmaschine 15 als Motor auf Nenndrehzahl hochläuft und diese Drehzahl eine gewisse Zeit beibehält, bis die Brennstoffzelle 1 ihren Betriebszustand erreicht hat, d. h. ihre Betriebsspannung ausgibt. Zugleich mit der Ansteuerung des Wechselrichters 21 werden die Mittel zur Einspeisung von Brennstoff in die Brennstoffzelle im Gang gesetzt, das Ventil 10 geschlossen und das Ventil 12 geöffnet. Die Startphase endet, wenn die Brennstoffzelle ihre Betriebsspannung erreicht hat. Während des Hochlaufs der Synchronmaschine 15 einschließlich der vorstehend erwähnten Zeit danach dreht sich die Synchronmaschine 16 im Leerlauf. In der Startphase wird die Brennstoffzelle 1 durch Einspeisung des Oxydanten durch den Kompressor 5 und durch das Brenngas aus der Brenngaserzeugungseinrichtung, die vom Hochdruckkompressor mit Luft versorgt wird, in Gang gesetzt. Die Brennstoffzelle 1 heizt sich durch die entstehende Prozeßwärme auf und erzeugt eine Gleichspannung an den Ausgängen 2 und 3. Die für die Aggregate zum Ingangsetzen der Brennstoffzelle bzw. bis zu deren Betriebsbereitschaft benötigte Energie wird der Speicherbatterie 24 entnommen.

Die Steuerschaltung 36 erkennt, wenn die Brennstoffzelle 1 ihre Betriebsbereitschaft erreicht hat. Zu diesem Zeitpunkt oder schon vorher, wenn die Brennstoffzelle noch nicht ihre Betriebsspannung erreicht hat, speist die Steuerschaltung 36 Erregerstrom in die Feldwicklung 32 ein. Die Synchronmaschine 16 arbeitet dann als leerlaufender Generator, dessen Ausgangsspannung von der Steuerschaltung 36 überwacht und auf einen Wert eingestellt wird, der etwas kleiner als die bei Betriebsspannung der Brennstoffzelle 1 am Wechselrichter 28 ausgangsseitig vorhandene Spannung ist.

Hat die Brennstoffzelle 1 ihre vorgesehene Betriebsspannung erreicht, dann betätigt die Steuerschaltung 36 den Schalter 39 und die Schalter des Wechselrichters 28, so daß die Statorwicklung 16 der Synchronmaschine 16 mit der Spannung der Brennstoffzelle 1 beaufschlagt wird. Die Generatorspannung entspricht dabei einer Gegen-EMK. Die

Synchronmaschine 16 geht daher vom Generator schnell in den Motorbetrieb über, worauf die Synchronmaschine den Kompressor 5 und den Hochdruckkompressor 6 sowie die Pumpe 8 antreibt. Durch den Übergang der Synchronmaschine 16 auf Motorbetrieb wird die Synchronmaschine 15 automatisch auf Generatorbetrieb umgestellt, in dem sie bei entsprechender Steuerung des Erregerstroms durch die Steuerschaltung 36 Ladestrom der Speicherbatterie 24 zuführt. Die Höhe der Spannung im Netz mit der Speicherbatterie 24 und dementsprechend die Ladung der Speicherbatterie 24 wird durch eine Einstellung des Erregerstroms in der Feldwicklung 29 den Erfordernissen angepaßt. Wenn die Verbraucher 25, 26 in Betrieb sind, ist es durch eine entsprechende Erregung der Synchronmaschine 15 zweckmäßig die Verbraucher mit Strom aus der Synchronmaschine 15 zu versorgen, damit der Speicherkondensator 24 nicht entladen wird.

In Fig. 2 ist in einem Übersichtsbild mit den wesentlichen Bestandteilen der Vorrichtung der Zustand der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung in der Startphase dargestellt. Zu den einzelnen, in Fig. 2 gezeigten Bauteilen der Vorrichtung wurden deren Wirkungsgrade angegeben. Es ist möglich, eine Synchronmaschine 16 für die von der Brennstoffzelle 1 erzeugte Spannung mit einem Wirkungsgrad von 90% oder mehr unter Einbeziehung des Wirkungsgrades des Wechselrichters 28 zu erhalten. Für die Synchronmaschine 15, ausgelegt für die Spannung der Speicherbatterie, ist eine Wirkungsgrad von 85% oder mehr unter Einbeziehung des Wirkungsgrades des Wechselrichters 21 möglich.

In der Startphase, in der die Brennstoffzelle 1 galvanisch vom Wechselrichter 28 durch den offenen Schalter 39 getrennt ist, ist der Wirkungsgrad, der von der Synchronmaschine 15 abgegebene Leistung 85%, die dann an den Kompressoren 5, 6 und der Wasserpumpe 8 verfügbar ist. Ein Systemkondensator 38 im Netz der Brennstoffzelle wird mit 0,76 Wirkungsgrad durch den Wechselrichter 28 geladen.

Die Kompressoren 5, 6 und die Wasserpumpe 8 sind in Fig. 2 als Block mit den Bezugszeichen 5, 6, 8 dargestellt. Der Wirkungsgrad einer Vorrichtung mit Einzelmotorantrieben, die am Brennstoffzellennetz hängen und vorgeschaltete DC/DC-Wandler haben, ist geringer.

Im normalen Betrieb der Brennstoffzelle 1, der in Fig. 3 im Übersichtsschaltbild mit den wesentlichen Bestandteilen der Vorrichtung gemäß Fig. 1 dargestellt ist, ist der hohe Wirkungsgrad der Synchronmaschine 16 von 90% vorhanden, während die Speicherbatterie 24 mit einem niedrigen Wirkungsgrad von ca. 0,76 über die Synchronmaschine 15 geladen wird. Für die Antriebe steht demgegenüber durch den Wirkungsgrad von 90% eine Leistung zur Verfügung, die sich auf eine wesentlich höhere Leistung als die Aufladeleistung bezieht. Bei der oben beschriebenen Vorrichtung mit Einzelmotoren wäre der Motorwirkungsgrad in etwa gleich dem des Startbetriebs, d. h. wesentlich geringer. Nur der Ladewirkungsgrad wäre dagegen etwas höher.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie mit einer Brennstoffzelle, der ein Oxydant von einem Kompressor zugeführt wird, und mit einem für die Versorgung eines Brenngaserzeugungssystems mit Luft bestimmten Hochdruckkompressor, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Einheit (14) eine erste und eine zweite Synchronmaschine (15, 16) aufweist, daß die erste der beiden als Einheit starr miteinander gekoppelten Synchronmaschinen über einen Wechselrichter (21) an eine Speicherbatterie (24) und die zweite über einen Wechselrichter (28) an die elektrischen Ausgänge (2,

3) der Brennstoffzelle (1) anschaltbar ist, daß die Einheit (14) wenigstens mit dem Hochdruckkompressor (6) und dem Kompressor (5) mechanisch starr gekoppelt ist und daß die die Wechselrichter (21, 28) und die Feldwicklungen (20, 27) der Synchronmaschinen (15, 16) an eine Steuerschaltungsanordnung (36) angeschlossen sind, die im Startbetrieb die erste Synchronmaschine (15) als Motor und die zweite leerlaufend und nach dem Ende des Startbetriebs die zweite als Motor und die erste als Generator steuert.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Welle des Hochdruckkompressors (6) eine Wasserpumpe (8) starr gekoppelt ist, zu der ein mit einem steuerbaren Ventil (12) ausgestatteter Bypass (11) parallel geschaltet ist und die mit einer Ausgangsleitung (9) an die Kühleinrichtung der Brennstoffzelle (1) über ein Ventil (10) verbunden ist, mit dem der Kühlwasserzulauf zur Brennstoffzelle (1) sperrbar ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Feldwicklungen (20, 27) der Synchronmaschinen (15, 16) je über kontaktlose Schalter (34, 35) mit der Speicherbatterie (24) verbunden sind.

4. Vorrichtung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Hochdruckkompressor (6) über ein Untersetzungsgetriebe (18) mit der Einheit (14) verbunden ist.

5. Vorrichtung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Synchronmaschine (15) etwa 10 bis 20% der Leistung der zweiten Synchronmaschine (16) hat.

6. Vorrichtung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahl der Synchronmaschinen 12000 1/min ist.

7. Vorrichtung nach, zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Wirkungsgrad der ersten Synchronmaschine (15) etwa 85% oder mehr und der Wirkungsgrad der zweiten (16) etwa 90% oder mehr bei Nennleistung ist.

8. Vorrichtung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche gekennzeichnet durch die Anbringung in einem Fahrzeug, dessen Antriebsmotor (4) bzw. Antriebsmotore mit Energie aus der Brennstoffzelle (1) versorgt werden.

9. Vorrichtung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Einheit (14) drei, mit den Feldwicklungen der Synchronmaschinen verbundene Schleifringe hat von denen einer beiden Feldwicklungen gemeinsam ist.

10. Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung für die Erzeugung elektrischer Energie mit einer Brennstoffzelle, der ein Oxydant, insbesondere Luft, durch einen Kompressor zugeführt wird, und mit einem für die Versorgung einer Brenngaserzeugungseinrichtung mit Luft bestimmten Hochdruckkompressor, wobei eine Einheit eine erste und eine zweite Synchronmaschine aufweist und die erste der beiden starr miteinander gekoppelten Synchronmaschinen über einen Wechselrichter an die Speicherbatterie und die zweite über einen Wechselrichter an die Ausgänge der Brennstoffzelle anschaltbar ist, und wobei die Einheit wenigstens mit dem Hochdruckkompressor und dem Kompressor mechanisch starr gekoppelt ist, dadurch gekennzeichnet, daß zum Starten der Brennstoffzelle die erste Synchronmaschine erregt und als Motor bei leerlaufender zweiter Synchronmaschine zum Antrieb des Kompressors und Hochdruckkompressors betrieben wird, daß

die Brenngaszufuhr zur Brennstoffzelle freigegeben wird, daß die zweite Synchronmaschine als Generator auf eine Spannung unterhalb der Betriebsspannung der Brennstoffzelle erregt wird und daß nach dem Erreichen der Betriebsspannung der Brennstoffzelle die zweite Synchronmaschine mit der Betriebsspannung beaufschlagt wird und als Motor den Kompressor für die Oxydanten-Förderung und den Hochdruckkompressor sowie die erste Synchronmaschine antreibt.

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Synchronmaschine zuerst mit Erregerstrom beaufschlagt und danach mit der Statorwicklung an den vom Speicherkondensator gespeisten Wechselrichter gelegt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß mit dem Hochdruckkompressor eine Wasserpumpe in einem Kühlkreislauf der Brennstoffzelle verbunden ist und daß die Wasserpumpe während der Startphase der Brennstoffzelle auf Bypassbetrieb eingestellt und der Zulauf zur Kühleinrichtung der Brennstoffzelle gespart wird.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

55

60

65



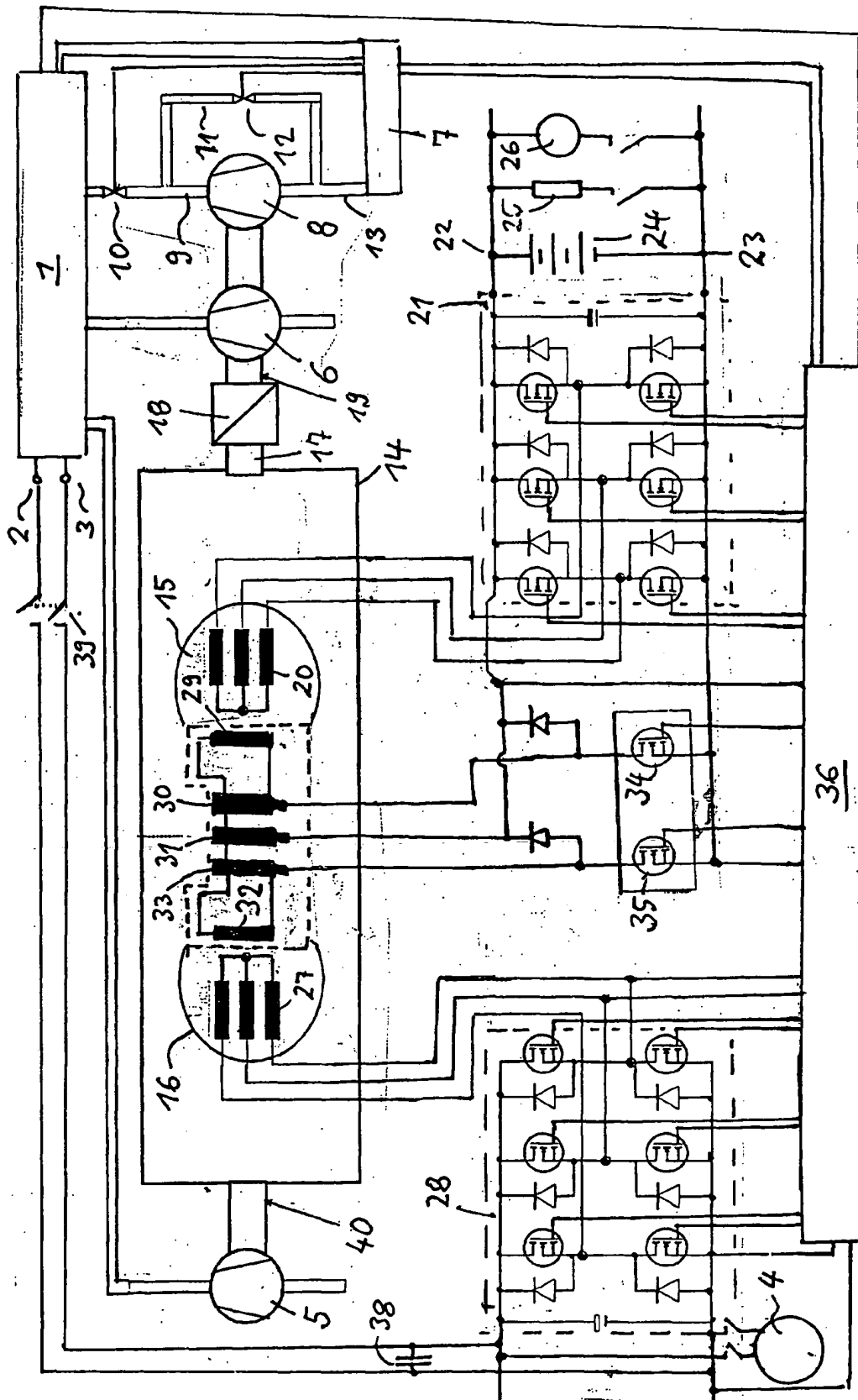


Fig. 7

Fig. 2

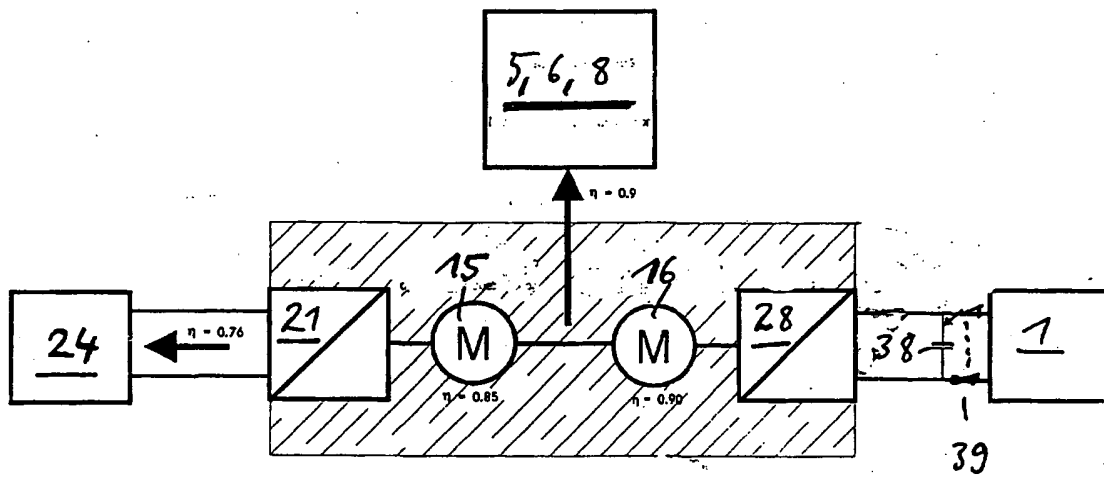
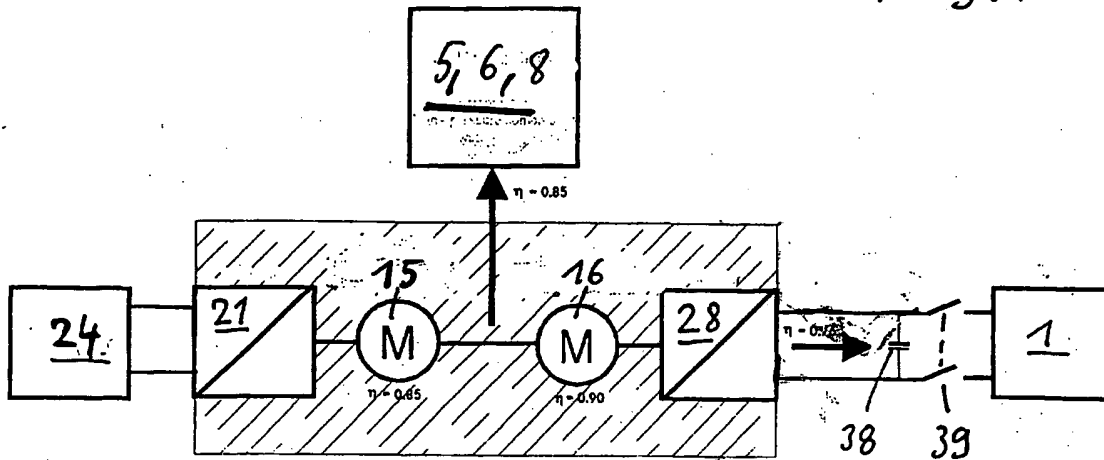


Fig. 3